

Aus dem Institut für Veterinär-Biochemie der Tierärztlichen Fakultät
der Freien Universität Berlin
(Direktor: Professor Dr. Dr. K. Drepper)

UNTERSUCHUNGEN ÜBER STICKSTOFFVERBINDUNGEN IM VERDAUUNGSTRAKT VON SCHLACHTPFERDEN

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung des Grades
eines Doktors der Veterinärmedizin
an der Freien Universität Berlin

vorgelegt von
Hans-Jürgen Altmann
Tierarzt aus Berlin

Berlin 1969

Journal-Nr. 662

Druck:

ERNST-REUTER-GESELLSCHAFT
der Förderer und Freunde der Freien Universität Berlin e.V.
DISSERTATIONS-DRUCKSTELLE
1 Berlin 33, Garystr. 45

Aus dem Institut für Veterinär-Biochemie der Tierärztlichen Fakultät
der Freien Universität Berlin
(Direktor: Professor Dr. Dr. K. Drepper)

UNTERSUCHUNGEN ÜBER STICKSTOFFVERBINDUNGEN IM VERDAUUNGSTRAKT VON SCHLACHTPFERDEN

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung des Grades
eines Doktors der Veterinärmedizin
an der Freien Universität Berlin

vorgelegt von
Hans-Jürgen Altmann
Tierarzt aus Berlin

Berlin 1969

Journal-Nr. 662

Gedruckt mit Genehmigung der Tierärztlichen Fakultät der
Freien Universität Berlin

Dekan: Prof. Dr. K. Bronsch
Referent: Prof. Dr. Dr. K. Drepper
Korreferent: Prof. Dr. K. Bronsch

Tag der mündlichen Prüfung: 9. Juli 1969

Meinen Eltern in Dankbarkeit gewidmet

1904
JANUARI
1904



A. EINLEITUNG	1
B. LITERATUR	3
C. EIGENE UNTERSUCHUNGEN	7
I. Methodischer Teil	7
a) Futter und Indikator	7
b) Vorversuch: Passagedauer	8
c) Tiermaterial	10
d) Probenentnahme und Aufarbeitung	11
e) Automatische Aminosäurenanalytik	12
II. Ergebnisse	13
a) Rohproteingehalte und Rohproteinresorption in den Darmabschnitten	13
b) Ermittlung der Proteinwertigkeit in den Darmabschnitten	14
c) Gehalte und Resorption von Lysin und S-haltigen Aminosäuren	21
D. DISKUSSION	24
E. SCHLUSSBETRACHTUNG	31
F. ZUSAMMENFASSUNG	33
G. LITERATURVERZEICHNIS	34

Digitized by the Internet Archive
in 2026

A. EINLEITUNG

Bei Untersuchungen über die Ernährungsphysiologie des Pferdes ist es von besonderer Bedeutung zu prüfen, welche qualitative Veränderung das Nahrungsprotein im Verlaufe der Passage durch das Intestinum erleidet.

Während beim Wiederkäuer bekannt ist, daß das Nahrungsrohprotein im am Anfang des Verdauungstraktes liegenden Pansen zu etwa 70 % in biologisch höherwertiges Protein der Mikroorganismen umgewandelt wird, liegen beim Einhufer nur sehr spärliche Untersuchungsbefunde über den Ort einer wahrscheinlich notwendigen Aufwertung des mit dem Futter aufgenommenen Rohproteins vor.

Im einhöhligen Pferdemagen finden neben der Kohlenhydrataufspaltung schon proteolytische Vorgänge statt, die durch die Pepsin-HCl-Wirkung, durch proteolytische Futterenzyme, als auch durch bakterielle Proteasen bedingt sind.

Die durch Proteinverdauung freiwerdenden Aminosäuren und Polypeptide gelangen relativ schnell in den Dünndarm, wo sie zum Teil nach enzymatischem Aufschluß resorbiert werden.

Die nicht aufgeschlossenen und nicht resorbierten Nahrungsbestandteile werden periodisch in das Caecum gegeben. Dort und im großen Colon herrschen vergleichbare Verhältnisse wie im Pansen des Rindes: es kommt zur Vergärung der pflanzlichen Zellstrukturen durch mikrobielle Zellulasen. Aus dem freiwerdenden Protein wird Bakterienprotein gebildet, das in den weiter caudal gelegenen Darmabschnitten wahrscheinlich durch Bakterienenzyme aufgespalten wird, so daß jetzt die Aminosäuren des höherwertigen Proteins für den Wirtorganismus (Einhufer) in resorptionsfähiger Form zur Verfügung stehen.

Die vorliegende Arbeit sollte zu klären versuchen, welchen qualitativen Veränderungen die Stickstoffverbindungen des Futters im Verdauungstrakt des Pferdes unterliegen. Besonders sollte untersucht werden, ob beim Pferd und gegebenenfalls in welchem Darmabschnitt eine mit dem Wiederkäuer vergleichbare Aufwertung des Nahrungsproteins stattfindet.

B. LITERATUR

Über die Verdauungsvorgänge des Pferdes sind Ende des letzten Jahrhunderts umfangreiche Untersuchungen durchgeführt worden, so vor allem in England von COLIN (1871) und in Deutschland von ELLENBERGER und seiner Schule.

HOFMEISTER (1888) bestimmte die endogene Stickstoffabgabe im Magen, Dünndarm und Caecum durch Verfütterung reiner Stärke und Zellulose.

SCHEUNERT et al. (1913) beobachteten, daß im Magen amylytische und proteolytische Verdauungsvorgänge nebeneinander ablaufen; zu Beginn der Fütterung überwiegen die amylytischen, später die proteolytischen. Nach Verabreichung gefärbten Wassers als Tränkung erschien nur die Oberfläche des Mageninhalts gefärbt. Das Pferd kann also während oder nach der Fütterung große Wassermengen aufnehmen, die ohne Veränderung des Mageninhalts außen am Nahrungsbrei vorbei in den Dünndarm fließen. Die Autoren vermuteten, daß neben einer Pepsin-HCl-Verdauung auch proteolytische Bakterien und Nahrungsmittelfermente im Magen am Eiweißabbau beteiligt sein müssen.

SCHWARZ (1926) untersuchte die ernährungsphysiologische Bedeutung der Mikroorganismen im Darmtrakt des Pferdes. In Analogie zu den Verdauungsvorgängen im Pansen der Wiederkäuer sah er in den Bakterien und Infusorien im Caecum und Colon des Pferdes eine Eiweißquelle. Die dort vorhandenen Mikroben bauen aus den für sie zur Verfügung stehenden Futterstoffen, Amidverbindungen und anderen löslichen N-Verbindungen ihr eigenes Körperprotein auf, das nun als so aufgewertetes Protein dem Pferd zur Verfügung steht.

Der Verfasser berechnete, daß bei einem leichten Pferd mit einem täglichen Bedarf von 0,6 g Protein/kg Körpergewicht

die Menge des resorbierten Infusorieneiweißes den Bedarf zu einem Viertel bis zu einem Drittel, im Notfall sogar vollkommen, decken kann.

Im Dünndarm des Pferdes findet nach SCHEUNERT et al. (1929) eine umfangreiche Proteinverdauung statt. Im Anfangsteil herrscht eine Pepsin-HCl-Wirkung vor, später auch eine starke Trypsinverdauung, die auch im noch sauren Bereich bei Anwesenheit von Galle wirksam ist.

Im Caecum laufen sekretive und resorptive Vorgänge nebeneinander ab.

Die im Dickdarm stattfindende Verdauung ist im Vergleich zum Magen und Dünndarm relativ gering, aber doch wegen der verhältnismäßig reichlichen Mengen ungelöster Nährstoffe, die mit der Dünndarmentleerung in das Caecum eintreten, nicht zu vernachlässigen.

MANGOLD (1943) stellt die Frage, ob das Bakterieneiweiß der Pferde nicht eine ähnliche Verdaulichkeit aufweist, wie das der Infusorien beim Pferd und wie die Pansenbakterien und -infusorien im Dünndarm der Wiederkäuer. Der Verfasser weist darauf hin, daß die Aufgabe der Bakterien und Infusorien im Pferdedickdarm nicht nur in einer Aufschließung des pflanzlichen Futters, besonders der Rohfaser, zu sehen ist, sondern daß sie auch eine hohe Bedeutung für den Proteinstoffwechsel des Pferdes haben.

Bei einem Vergleich der Proteinverdauung zwischen Pferd, Rind und Schwein zeigte BONAZZI (1951), daß das Pferd das Futterprotein relativ am besten verwertet.

EHRENBURG (1954) meint, daß die Ausnutzung des Bakterien- und Infusorieneiweißes im Dickdarm des Pferdes nicht so günstig ist, wie es beim Rind der Fall ist, da der Weg vom Blinddarm bis zum Ausgang aus dem Körper wesentlich kürzer

als der vom Pansen über Magen und gesamten Darm ist.

Nach KOLB (1958) stellt das synthetisierte Bakterien- und Protozoeneiweiß eine wesentliche Quelle für essentielle Aminosäuren dar, die in pflanzlichen Futtermitteln in ungenügender Menge vorhanden sind. Der Verfasser weist außerdem auf die guten resorptiven Eigenschaften der Dickdarmschleimhaut des Pferdes hin.

ALEXANDER (1963) betont den Unterschied zwischen Pferd und Wiederkäuer. Beim Pferd findet im Dünndarm eine weitgehende Resorption der hydrolisierten Substanzen statt. Nur die in den vorderen Darmabschnitten unverdauten Bestandteile der Nahrung wie Zellulose und von ihr eingeschlossene Substanzen fallen im Dickdarm der mikrobiellen Zersetzung anheim.

ALEXANDER et al. (1963) fanden im gesamten Darmtrakt des Pferdes Harnstoff, besonders im Dickdarm.

Bei der Bestimmung des Rohproteingehaltes in einzelnen Darmabschnitten des Pferdes fanden ALEXANDER et al. (1963) im dorsalen Colon höhere Werte als im ventralen. Dieser Befund könnte durch die Sekretion N-haltiger Mucopolysaccharide mit dem Schleim erklärt werden (ALEXANDER et al., 1952; MORRIS, 1954).

CUNHA (1966) vertritt die Ansicht, daß der Ort der stärksten Verdauung und Resorption beim Pferd im Dünndarm gelegen ist. Der Verfasser meint daher, daß es notwendig wäre, bis weitere Kenntnisse über eine Resorption der Aminosäuren aus den im Dickdarm synthetisierten Proteinen vorliegen, dem Pferd qualitativ hochwertige Proteine zu verfüttern.

Nach HANSON und KLEINE (1966) entgehen beim Pferd im Dünndarm ca. 25 % des Nahrungsbreies der Verdauung, vor allem Zellulose. Diese wird im Dickdarm durch die Zellulase und

Amylase der Bakterienflora aufgeschlossen, und somit dienen die freigewordenen Inhaltsstoffe der Pflanzenzellen dem Aufbau der Bakterien und Infusorien (ERDMANN, 1966).

Beim Pferd findet kaum ein anaerober Abbau von Eiweiß und Eiweißspaltprodukten im Dickdarm statt, da Eiweißfäulnis-erreger durch kohlenhydratvergärende Bakterienstämme gehemmt werden (HILL, 1969).

GEYER und DREPPER (1969) vermuten, daß das im Dickdarm synthetisierte Mikrobenprotein in den jeweils folgenden Dickdarmabschnitten einer Spaltung und Resorption anheimfällt und so im Intermediärstoffwechsel des Pferdes verwertet werden kann.

ENGELBART (1968) fand bei orientierenden Untersuchungen an Schlachtpferden im bakterienhaltigen Saft aus Caecum, ventralem und dorsalem Colon an das Vorhandensein von Bakterien gebundene proteolytische Aktivitäten. Diese waren im dorsalen Colon besonders hoch. Zellfrei filtrierte Dickdarmflüssigkeit zeigte keine proteolytische Aktivität.

C. EIGENE UNTERSUCHUNGEN

I. Methodischer Teil

Es wurden Schlachtpferde über längere Zeit mit einem indikatorhaltigen Futter gefüttert. Nach der Schlachtung entnommene Proben aus den einzelnen Darmabschnitten dienten zur Bestimmung des Aminosäurenmusters des Darminhalts.

a) Futter und Indikator

Ein im Institut für Veterinär-Biochemie der Freien Universität Berlin entwickeltes Pelletfutter folgender Zusammensetzung wurde verabreicht:

Luzernegrünmehl	44 %
Haferschrot	20 %
Haferschalen	18 %
Weizenkleiemeselasse	12 %
Horsal ¹⁾ (Mineralstoff- mischung)	1 %
Hostalen ²⁾ (Indikator)	5 %

Futteranalyse (in der Trockensubstanz mit Hostalen)

Rohprotein	12,98 %
Rohfett	2,69 %
Rohfaser	21,2 %
Rohasche	6,78 %

Um der Gefahr der Entmischung zu entgehen, war es notwendig, das Futter zu pelletieren.

1) Der Firma H. W. Schaumann, Hamburg, danke ich herzlich für die kostenlose Überlassung von Horsal, ebenso 2) der Firma Farbwerke Hoechst AG, Frankfurt, für Hostalen (Dichte 0,94; Korngröße 50 mesh = 0,3 mm)

GEYER (1968) fand in seinen Verdauungsversuchen bei Pferden eine gleichmäßigere Ausscheidung des Hostalens bei Pelletfütterung als bei Heu-Haferfütterung, bei der der Indikator dem Hafer untergemischt war.

HINZ und LOY (1966) hatten keinen negativen Einfluß der Pelletfütterung auf die Verdauung des Pferdes bemerken können. Sie stellten fest, daß die Zeit der Futteraufnahme verkürzt war, und der Kot einen geringeren Trockensubstanzgehalt hatte, was GEYER (1968) in seinen Versuchen bestätigte.

b) Vorversuch: Passagedauer

Um die notwendige Vorfütterungszeit der Hostalenpellets bestimmen und die Eignung des Hostalens als Indikator nachprüfen zu können, wurde ein Passageversuch durchgeführt. Einem Pferd wurden zwei Kilogramm Pellets mit 20 % Hostalen verabreicht, danach erfolgte eine hostalenfreie Pelletfütterung. Anschließend wurde jeder einzelne Kotabsatz bis zu 96 Stunden nach der Hostalenverabreichung quantitativ aufgefangen und der Hostalengehalt analysiert.

In dem drei Tage bei 105°C getrockneten und anschließend gemahlten Kot wurde der Hostalengehalt nach einer vereinfachten von CHANDLER et al. (1964) beschriebenen Hostalenbestimmungsmethode analysiert. Die Kotproben wurden in einem Erlenmeyerkolben mit einem Gemisch aus einem Teil konzentrierter Salpetersäure und vier Teilen konzentrierter Schwefelsäure in einem siedenden Wasserbad während einer Stunde aufgeschlossen. Hostalen wird unter diesen Bedingungen nicht angegriffen. Das abgekühlte Reaktionsgemisch wird vorsichtig quantitativ in einen Scheidetrichter gegeben, in dem sich die etwa dreifache Menge Wasser befindet. Hostalen setzt sich an der Oberfläche ab, so daß der größte Teil der Säurephase abgelassen werden kann.

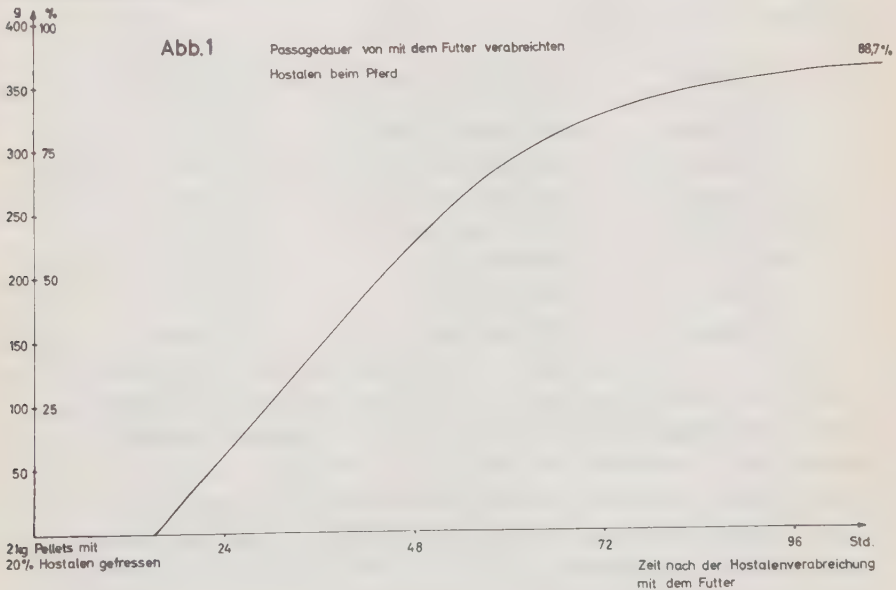
Mit Wasser wird das Hostalen auf eine gewogene Glasfritte gespült, mit Aceton gewaschen und anschließend für zwei Stunden bei 105°C getrocknet und nach einer halben Stunde Abkühlen gewogen. Fehlergrenze etwa $\pm 1\%$, die Einwaage sollte ungefähr 200 bis 500 mg Hostalen entsprechen.

Bei dem durchgeführten Passageversuch konnten während der Versuchszeit 88,7 % des verabreichten Hostalens wiedergefunden werden. Die quantitative Erfassung des Hostalens im Kot hätte bei dem mehr und mehr abflachenden Verlauf der Ausscheidungskurve wesentlich mehr Zeit erfordert (s. Abb. 1).

Hostalenausscheidung mit dem Kot

Abb.1

Passagedauer von mit dem Futter verabreichten
Hostalen beim Pferd



Obwohl die Hostalenausscheidung nach 96 Stunden noch nicht vollkommen abgeschlossen ist, können etwa folgende Zahlen für die Passagedauer bei Pelletfütterung gelten:

24 h	15 %
48 h	70 %
72 h	90 %
96 h	100 %

Als Vorfütterungszeit für die Schlachtpferde galten daher mindestens sieben Tage nach vollständiger Umstellung auf Pelletfütterung.

c) Tiermaterial

Insgesamt standen sieben Pferde für die Untersuchungen zur Verfügung. Dabei handelte es sich um:

Nr.	Alter	Rasse/Geschlecht	Gewicht
1	8-jährig	Norwegerwallach	540 kg
2	8-jährig	Trakehnerstute	463 kg
3	10-jährig	Hannoveranerstute	552 kg
4	7-jährig	Traberwallach	440 kg
5	8-jährig	Traberstute	450 kg
6	5-jährig	Traberhengst	462 kg
7	4-jährig	Haflingerwallach	395 kg

Die Pferde standen auf Torf. Fünf Tage vor der Schlachtung wurden sie ohne Einstreu aufgestellt, da gelegentliches Torffressen beobachtet werden konnte. Gefüttert und getränkt wurde morgens 7.30 Uhr und nachmittags gegen 16.30 Uhr. Je nach Größe erhielten sie zwischen 5 bis 8 kg Pellets täglich und Wasser ad libitum. Die Pferde wurden täglich etwa 30 Minuten an der Longe bewegt.¹⁾

1) Die Pferde Nr. 1 bis 4 wurden dankenswerter Weise von Herrn W. Frömberg, Berlin-Steglitz, zur Verfügung gestellt, bevor er sie in seiner Roßschlächtereie schlachten ließ.

d) Probenentnahme und Aufarbeitung

Der normale Schlachtgang wurde dahingehend abgewandelt, daß der Darmtrakt direkt nach dem Ausbluten der Tiere zur Probenentnahme excenteriert werden konnte. So konnte eine postmortale Abschliferung der Darmepithelien weitgehend verhindert werden, denn vom Ausbluten bis zur Probenentnahme vergingen nur 5 bis maximal 10 Minuten.

Pferd Nr. 1 hatte das letzte Futter etwa 15 Stunden vor der Schlachtung aufgenommen, aus dem Magen und Ileum konnte kein Futterbrei gewonnen werden. Die folgenden Pferde erhielten daraufhin vier Stunden vor der Schlachtung das letzte Futter, so daß im Magen und Dünndarm reichlich Futterbrei enthalten war.

Es wurden zwei Operationspferde (Nr. 5 und 6) aus der chirurgischen Pferdeklinik der Freien Universität Berlin mit in den Versuch genommen, bei denen während der Operationsübungen am narkotisierten Tier Proben aus dem Ileum genommen wurden. Magen- und Dickdarmproben konnten erst etwa 1 bis 2 Stunden nach dem Ausbluten gewonnen werden; in diesen weiträumigen Abschnitten bedingen Abschliferungen keinen Fehler.

Bei dem Versuchspferd Nr. 7 konnten Proben am lebenden Tier durch eine Blinddarmfistel aus dem Ileum mittels eines vom Caecum aus eingeführten Tubus entnommen werden. Caecum- und Rektuminhalt gelangten ebenfalls zur Untersuchung.

Bei allen anderen Tieren wurden unmittelbar nach dem Ausbluten Proben aus folgenden Abschnitten des Verdauungstrakts entnommen:

1. Magen
2. Ileum
3. Caecum ventr. Colonlage
4. Colon ascendens dors. Colonlage
 (magenähnliche Erweiterung)
5. Colon descendens
 (kleines Colon)
6. Ampulla recti

Der gesamte Inhalt dieser Abschnitte wurde in Wannen gegeben, gut durchgemischt und aus jeder Wanne mehrere Teilproben entnommen und zu je einer Gesamtprobe vereinigt. Diese Gesamtproben wurden in ca. 2 cm hoher Schicht auf flachen Kotschalen für drei Tage in einem Umlauftrockenschrank bei 105°C getrocknet, anschließend im "Starmix" homogenisiert und in Schliffstopfenflaschen aufbewahrt.

In allen Proben wurden mit Doppelbestimmungen der Rohwasergehalt und der Hostalengehalt nach der obenbeschriebenen Methode bestimmt. Der Rohproteingehalt nach Kjeldahl wurde mit Dreifachbestimmungen ermittelt.

e) Automatische Aminosäurenanalytik

Die Aminosäurenanalytik wurde mit Hilfe der Ionenaustauscherchromatographie nach dem von SPACKMAN et al. (1958) entwickelten Verfahren an den Aminosäurenanalysatoren der Firma Beckman, Unichrom und 120 B, durchgeführt.¹⁾

Die Proben wurden mit 6 n Salzsäure im Vakuum bei 110°C für jeweils 24 Stunden und 72 Stunden hydrolysiert. Anschließend wurde die Salzsäure abgedampft, und das Hydrolysat in Puffer p_H 2,2 aufgenommen, filtriert und zur Bestimmung auf die Säule aufgetragen. Die sauren und neutra-

1) Fräulein Doris Schwarz möchte ich für ihre freundliche Unterstützung in der Aminosäurenanalytik danken.

len Aminosäuren wurden an einer 69 x 0,9 cm Säule mit dem Harz AA-15 und die basischen an einer 23 x 0,9 cm Säule mit dem Harz AA-27 aufgetrennt bei einer Durchflußgeschwindigkeit von 68 ml Puffer und 34 ml Ninhydrin/Stunde. Cystin wurde zu Cysteinsäure oxydiert und als solche bestimmt.

II. Ergebnisse

a) Rohproteingehalte und Rohproteinresorption in den Darmabschnitten

Die Rohproteinkonzentrationen der einzelnen Darmabschnitte sind in Tabelle 1 zusammengefaßt.

Tabelle 1

Rohproteingehalt in % der Trockensubstanz in den einzelnen Darmabschnitten der Versuchspferde

Pferd Nr.	1	2	3	4	5	6	7
Magen	-	15,0	14,4	16,1	13,0	12,5	-
Ileum	-	8,7	7,2	9,7	7,7	8,6	9,8
Caecum	8,4	9,7	9,6	9,9	11,7	8,0	11,5
v. Colon	7,9	8,4	9,2	12,6	9,8	8,2	-
d. Colon	8,4	7,6	8,3	10,4	8,6	8,0	-
kl. Colon	7,5	7,4	7,6	8,3	7,4	7,2	-
Rektum	8,0	7,4	7,6	8,6	8,1	7,2	10,8

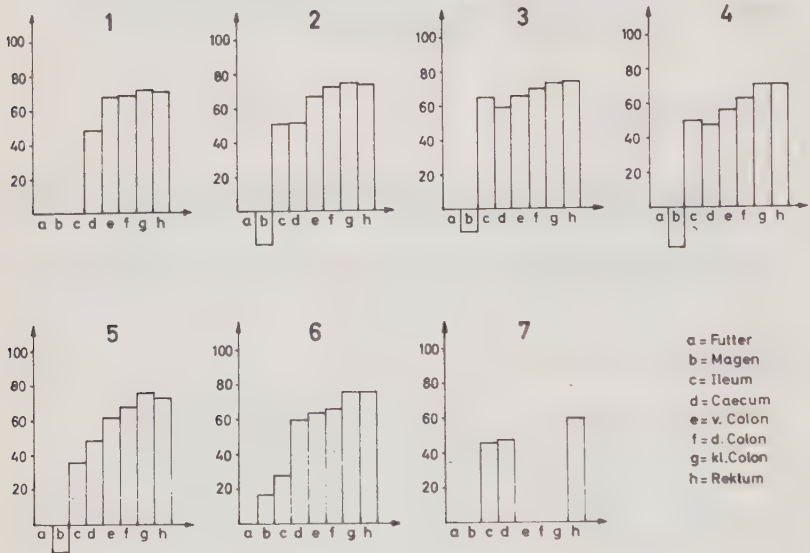
Futter 13,0

Die Resorption der stickstoffhaltigen Bestandteile des Futters wurde nach folgender Formel für jeden einzelnen Darmabschnitt jedes Pferdes berechnet (vgl. Abb. 2):

$$R = 100 - \frac{\text{Hostalen (Futter)} \times \text{N-Substanz (Darmabschnitt)}}{\text{Hostalen (Darmabschnitt)} \times \text{N-Substanz (Futter)}} \times 100$$

R = Resorption

Abb.2 % Nettoresorption des Rohproteins bezogen auf das Futter in den einzelnen Darmabschnitten der Versuchspferde



Die in Abbildung 2 angegebenen Werte sind Resultierende aus dem durch Futterbrei und Sekretion in das Darmlumen hineingelangten und dem aus dem Darmlumen durch Resorption abtransportierten Rohprotein.

b) Ermittlung der Proteinwertigkeit in den Darmabschnitten

Nach Analyse aller Aminosäuren (essentiell und nichtessen- tiell) in den getrockneten Proben der einzelnen Darmab- schnitte aller Versuchspferde wurden die Aminosäuregehalte in % der Trockensubstanz und des Rohproteins ermittelt.

Die Summe der Aminosäuren in den einzelnen Darmabschnitten

ergab in % des Rohproteins sehr unterschiedliche Resultate. Dieses Ergebnis bestätigt die Angaben von ALEXANDER et al. (1952 und 1963) sowie von MORRIS (1954), daß sich das Rohprotein in den Darmabschnitten zu erheblichen Anteilen aus Nicht-Proteinstickstoff (NPN, Harnstoff, Mucopolysaccharide, etc.) zusammensetzt. Ein Vergleich der Wertigkeit des Proteins in den einzelnen Darmabschnitten ist aber ausschließlich auf der Basis der gesamten Proteinbausteine, nicht unter Einbeziehung wechselnder Mengen NPN, möglich. Es wurde daher aus der Summe des N-Gehaltes aller Aminosäuren multipliziert mit 6,25 das sogenannte "wahre Protein" berechnet und der prozentuale Anteil der Aminosäuren an diesem "wahren Protein" zur Berechnung der Proteinwertigkeit eingesetzt. Der Gehalt an "wahrem Protein" in % des Rohproteins ist in Tabelle 2 angegeben.

Tabelle 2

Gehalt an "wahrem Protein"<sup>+) in % des Rohproteins
in den einzelnen Darmabschnitten der Versuchspferde</sup>

Pferd Nr.	1	2	3	4	5	6	7
Magen	-	68,5	67,9	71,4	72,4	74,3	-
Ileum	-	61,2	66,3	62,8	72,8	62,5	67,6
Caecum	72,3	62,7	58,2	70,5	73,8	63,2	73,2
v. Colon	70,8	66,2	61,8	68,9	72,3	60,5	-
d. Colon	63,9	60,2	59,5	69,4	63,2	59,1	-
kl. Colon	68,7	62,7	60,2	61,7	63,7	63,1	-
Rektum	69,6	61,8	60,8	63,1	66,3	60,4	70,1

Futter 85,9 +) Berechnung des "wahren Proteins" vgl. Text

Am Beispiel des Versuchspferdes Nr. 3 wird in der nachfolgenden Tabelle 3 die Aminosäurezusammensetzung in % des "wahren Proteins" in den einzelnen Darmabschnitten dargestellt. Da keine bedeutsamen Unterschiede zwischen den einzelnen Pferden erkennbar waren, wird auf die Wiedergabe der Ergebnisse der anderen Versuchspferde verzichtet.

Tabelle 3

% Aminosäuren im "wahren Protein" in den einzelnen
Darmabschnitten von Versuchspferd Nr. 3

	a	b	c	d	e	f	g	h
Lysin	4,8	4,1	3,9	5,0	6,0	5,5	5,1	4,8
Histidin	2,4	2,5	2,8	2,2	2,0	2,1	2,4	2,3
Ammoniak	5,5	5,1	2,8	3,2	3,0	2,9	3,1	3,2
Arginin	5,5	5,1	2,8	3,2	3,0	2,9	3,1	3,2
Asparagins.	12,2	10,4	10,8	10,5	11,7	11,3	9,9	10,8
Threonin	3,9	4,4	4,7	4,6	4,4	4,4	4,9	4,8
Serin	4,6	4,7	5,6	4,4	4,2	4,2	4,6	4,6
Glutamins.	15,9	16,4	14,5	13,1	13,3	12,4	10,8	11,9
Prolin	5,8	6,0	6,5	5,8	5,6	5,2	5,1	4,8
Glycin	5,6	6,2	7,5	7,0	6,8	6,9	7,3	7,1
Alanin	5,6	5,9	6,0	6,6	6,4	6,1	6,4	6,4
Cystin	1,4	1,3	1,5	1,5	1,5	1,6	2,2	1,4
Valin	6,2	6,1	6,5	6,8	6,6	6,9	6,4	6,9
Methionin	1,5	1,3	1,5	1,6	1,2	1,0	1,3	1,4
Isoleucin	4,5	5,3	3,9	5,2	5,4	6,3	5,1	5,5
Leucin	7,9	8,7	7,5	7,2	7,6	8,2	7,7	8,5
Tyrosin	3,4	3,2	2,8	3,4	3,4	3,6	3,3	3,0
Phenylalanin	5,2	5,1	4,8	4,8	4,8	5,7	6,0	6,0

a = Futter

b = Magen

c = Ileum

d = Caecum

e = v. Colon

f = d. Colon

g = kl. Colon

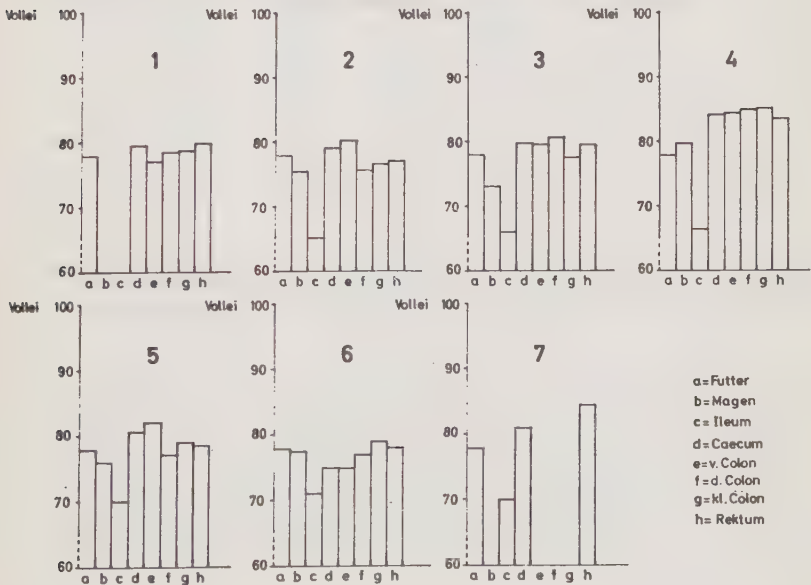
h = Rektum

Nach OSER (1951) wurde das geometrische Mittel der essentiellen Aminosäuren im Verhältnis zu einem Standardprotein gebildet und so die Proteinwertigkeit errechnet (essential amino acid Index = EAA-Index). Als Standard dient Volleiprotein nach den Angaben "Evaluation of Protein Quality", Publication 1100, National Academy of Sciences, NRC, Washington (1963). Folgende Aminosäuren wurden berücksichtigt: Arginin, Histidin, Lysin, Leucin, Isoleucin, S-haltige Aminosäuren (Methionin + Cystin), aromatische Aminosäuren (Tyrosin und Phenylalanin), Threonin, Valin.

Bei der Berechnung nach OSER (1951) ergab die Wertigkeit in den einzelnen Darmabschnitten folgendes Bild (s. Abb. 3).

Abb.3

EAA-Index nach OSER in den einzelnen Darmabschnitten der Versuchspferde



Eine andere Art der Berechnung der Proteinwertigkeit aus Aminosäureanalysen wurde von MITCHELL und BLOCK (1964) angegeben. Hierbei werden ausschließlich diejenigen essentiellen Aminosäuren des untersuchten Proteins berücksichtigt, die im Vergleich zum Volleiprotein den geringsten prozentualen Gehalt haben ("chemical score"). Die Ergebnisse sind in Tabelle 4 dargestellt.

Tabelle 4

Chemical score und begrenzende Aminosäure(n) in den einzelnen Darmabschnitten der Versuchspferde

Pferd Nr.	1	2	3	4	5	6	7
Magen	-	48,9	41,8 ⁺	42,3 ⁺	52,4	47,2	-
Ileum	-	48,7	45,2	52,4 ⁺	50,6	53,5	54,7 ⁺
Caecum	46,5	55,4	56,3	69,4	54,1	57,0	59,1
v. Colon	51,3	53,9	58,5	65,7	58,5	49,4	-
d. Colon	57,4	45,7	56,1	64,1	45,4	48,7	-
kl. Colon	59,4	48,7	49,8	71,8	55,2	65,6	-
Rektum	61,7	53,1	48,1	54,4	45,4	52,0	65,9

Futter 54,1

+ Lysin als limitierende Aminosäure

in allen übrigen Darmabschnitten und im Futter sind die S-haltigen Aminosäuren (Methionin + Cystin) limitierend

Nach einer neueren Arbeit von KWOLEK und VAN ETEN (1968) wird bei der Berechnung der Proteinwertigkeit (R) das arithmetische Mittel der Verhältnisse der essentiellen Aminosäuren (r_i) des analysierten Proteins in g/16g N mit den entsprechenden Aminosäuren des Standards verglichen, wobei der Standard die gesamten essentiellen Aminosäuren in g/100 g zu Grunde legt.

$$R = \frac{\sqrt{r_i}}{9}$$

- R = Proteinwertigkeit des untersuchten Proteins
 r_i = Verhältnis der essentiellen Aminosäuren des untersuchten Proteins und des Standards
9 = Zahl der zur Bestimmung hinzugezogenen Aminosäuren

Das Quadrat der mittleren Abweichungen gibt die Streuung der zu berechnenden Aminosäuren an.

$$V_r = \frac{\sum (R - r_i)^2}{8}$$

V_r = Quadrat der mittleren Abweichung der Aminosäuren vom Standard

Die Ergebnisse dieser Berechnungen sind in Tabelle 5 dargestellt.

Tabelle 5 Berechnete Proteinwertigkeit nach KWOLEK und VAN ETTEN (1968) in den einzelnen Darmabschnitten der Versuchspferde

Pferd Nr.	1		2		3		4		5		6		7	
	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b
Magen	-	-	77,3	11,5	75,9	15,2	82,3	12,6	77,8	11,1	79,6	10,5	-	-
Ileum	-	-	67,8	13,2	67,6	8,1	67,6	7,0	73,0	16,0	74,3	19,3	72,9	9,2
Caecum	82,5	16,1	80,9	10,2	81,5	9,3	85,2	7,0	81,9	7,6	76,6	8,3	82,0	6,7
v. Colon	79,4	11,7	82,4	12,1	81,5	10,3	85,5	7,1	83,8	9,8	77,1	10,7	-	-
d. Colon	79,8	8,9	77,8	11,9	82,8	10,8	85,8	5,7	79,6	13,4	79,9	13,3	-	-
kl. Colon	80,2	9,8	78,9	13,5	80,2	13,5	87,0	11,5	81,7	14,2	80,5	9,8	-	-
Rektum	81,2	8,2	79,3	12,3	82,1	12,8	85,5	12,8	81,3	14,8	80,1	12,3	85,6	6,6
Futter	79,0	6,2												

$$a = R \text{ in } \% \text{ von Vollei; } b = V_x \times 10^3$$

R = Proteinwertigkeit des untersuchten Proteins

V_x = Quadrat der mittleren Abweichung der Aminosäuren vom Standard

c) Gehalte und Resorption von Lysin und S-haltigen Aminosäuren

Im Vergleich zu den Carni- und Omnivoren ist im Futter der Herbivoren ein relativ geringer Anteil an Lysin und Methionin + Cystin enthalten. Da aber mit Sicherheit diese Aminosäuren für die Proteinsynthese im Intermediärstoffwechsel essentiell sind, konnte angenommen werden, daß eine bakterielle Aufwertung des Nahrungsproteins im Intestinum durch eine Erhöhung der Konzentration im "wahren Protein" gekennzeichnet ist.

Die Ergebnisse der Berechnungen aus den Analysen in der Trockensubstanz des Futterbreies in den einzelnen Darmabschnitten sind in Tabelle 6 und 7 dargestellt.

Tabelle 6

S-haltige Aminosäuren (Methionin + Cystin) in % des
"wahren Proteins" in den einzelnen Darmabschnitten
der Versuchspferde

Pferd Nr.	1	2	3	4	5	6	7
Magen	-	2,6	2,3	3,5	2,8	2,5	-
Ileum	-	2,6	2,4	3,0	2,7	2,9	3,8
Caecum	2,5	3,0	3,0	3,7	2,9	3,1	3,2
v. Colon	2,8	2,9	3,2	3,5	3,2	2,7	-
d. Colon	3,1	2,5	3,0	3,4	2,4	2,6	-
kl. Colon	3,2	2,6	2,7	3,9	3,0	2,5	-
Rektum	3,3	2,9	2,6	2,9	2,4	2,8	3,6

Futter 2,9

Tabelle 7

Lysin in % des "wahren Proteins" in den einzelnen
Darmabschnitten der Versuchspferde

Pferd Nr.	1	2	3	4	5	6	7
Magen	-	3,6	2,8	2,8	4,0	4,1	-
Ileum	-	3,6	3,6	3,5	3,4	3,9	3,6
Caecum	4,4	5,1	5,2	4,9	5,7	5,0	5,2
v. Colon	5,4	5,5	5,6	5,5	5,2	6,0	-
d. Colon	4,9	5,3	6,1	6,1	5,5	5,5	-
kl. Colon	4,5	4,7	4,8	5,6	4,7	5,1	-
Rektum	4,9	4,6	5,2	5,3	5,0	4,8	5,5

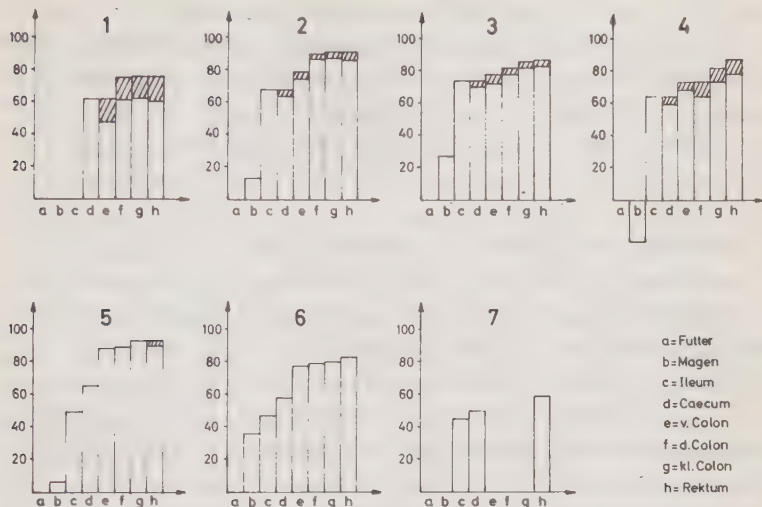
Futter 4,8

Wie bei der Resorption des Rohproteins wurde unter Bezug auf den Hostalengehalt in den einzelnen Darmabschnitten aus der Differenz des Gehaltes im Futter und in den einzelnen Darmabschnitten die Nettoresorption von den S-haltigen Aminosäuren und Lysin berechnet.

Die Ergebnisse sind in Abbildung 4 und 5 dargestellt.

Abb. 4

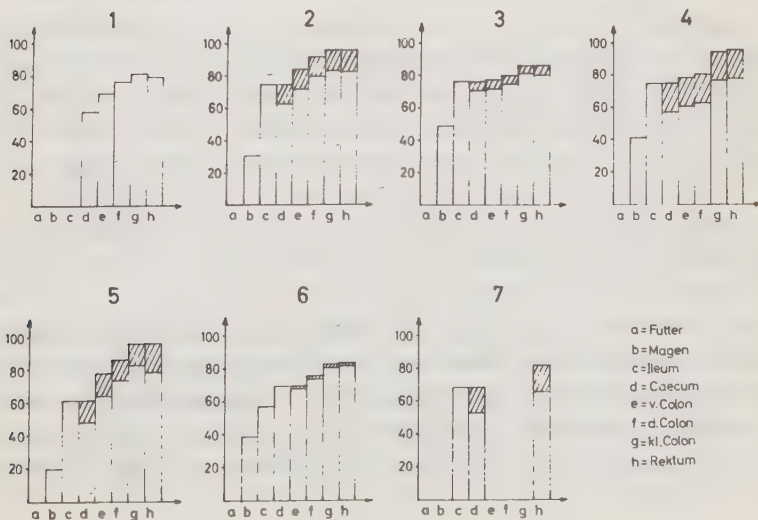
% Nettoresorption der S-haltigen As (Methionin+Cystin) bezogen auf das Futter
in den einzelnen Darmabschnitten der Versuchspferde



gemessene „Synthese“ wird durch schraffierten Teil der Säulen dargestellt

Abb. 5

% Nettoresorption Lysin bezogen auf das Futter in den einzelnen Darmabschnitten der Versuchspferde



gemessene „Synthese“ wird durch schraffierten Teil der Säulen dargestellt

D. DISKUSSION

In Tabelle 1 (S. 13) wurden die Rohproteingehalte in % der Trockensubstanz in den einzelnen Darmabschnitten der Versuchspferde im Vergleich zum Futter angegeben. Ziel dieser Untersuchung war es, durch einen Bezug auf das unverdauliche Hostalen als Indikator einen annähernden Wert für die Resorption des Nahrungsrohproteins in den einzelnen Darmabschnitten zu erhalten (Abb. 1, S. 9). Wie die am gleichen Tiermaterial parallel von HERTEL (1969) durchgeführten Untersuchungen zeigten, sind diese Berechnungen jedoch nur unter großen Vorbehalten gültig, weil eine unterschiedlich starke Herausschwemmung des Hostalens aus dem Futterbrei im Magen stattfindet, so daß die Bezugsbasis Hostalen zum Teil erhebliche Ungenauigkeiten in die Werte hereinbringt. In den Dickdarmabschnitten scheint sich jedoch, auf Grund der längeren Verweildauer in den größeren Lumina eine bessere Stabilisierung einzustellen. Es kommt hinzu, daß durch Sekretion, Epithelabschilferung, etc. zusätzlich stickstoffhaltige Substanzen in das Darmlumen hineingelangen, deren Größenordnung kaum abgeschätzt werden kann.

Alle Angaben in Tabelle 1 und Abbildung 1 sind dementsprechend durch in ihrer Größenordnung nicht bestimmbar Einflüsse beeinträchtigt. Eine Diskussion der Ergebnisse und ein Vergleich mit Literaturangaben (z.B. ALEXANDER et al., 1963) erscheint daher nicht sinnvoll. Wie HERTEL (1969) zeigte, wird durch die vorliegenden Untersuchungen die Anwendung eines Indikators für derartige Untersuchungen wie auch für Bilanzen in Frage gestellt.

Um nun trotz der aufgezeigten Schwierigkeiten einen Bezugsmaßstab für die Untersuchung der Proteinwertigkeit in den einzelnen Darmabschnitten der Pferde zu erhalten, wurde aus den Aminosäureanalysen das sogenannte "wahre Protein" errechnet. Dieser Wert, der ausschließlich den in den Amino-

säuren enthaltenen Stickstoff berücksichtigt (vgl. Tab. 2, S. 15), gestattet eine echte Bewertung der für den intermediären Proteinstoffwechsel des Pferdes bedeutsamen N-haltigen Substanzen des Futterbreies. Der N-Gehalt der im Verdauungstrakt entstandenen oder in das Lumen hineinsekretierten NPN-Verbindungen (Harnstoff, Mucinstoffe, Muraminsäure der Bakterienmembran u.a.) blieb bei den Berechnungen also unberücksichtigt.

In der Abbildung 3 (S. 17) wurde der EAA-Index nach OSER (1951) für die einzelnen Darmabschnitte der Versuchspferde graphisch dargestellt (Bezug "wahres Protein"). Es zeigt sich bei allen Pferden übereinstimmend ein Abfall der Wertigkeit vom Futter zum Magen, besonders aber zum Ileum. Da angenommen werden kann, daß im Magen und Dünndarm die relativ leicht verdaulichen Futterproteine gespalten und die entstandenen Aminosäuren im Dünndarm resorbiert werden, ergibt sich aus den Resultaten, daß die schwerer verdaulichen oder aus den Pflanzenzellen noch nicht freigesetzten Proteinfraktionen einen erheblich geringeren Gehalt an essentiellen Aminosäuren enthalten (vgl. Gehalte an Lysin und S-haltigen Aminosäuren).

Die EAA-Indices in den weiter distal gelegenen Darmabschnitten zeigten von Pferd zu Pferd etwas unterschiedliche, im ganzen jedoch wesentlich höhere Werte um 80, und lagen damit zum Teil über dem EAA-Index des Futters (78).

Diese Ergebnisse sind in etwa in Übereinstimmung mit den Untersuchungen am Pansen, dessen Inhalt eine Proteinwertigkeit von 80 bis 88 hat (ORTH und KAUFMANN, 1961; MCNAUGHT et al., 1954). Eine Erklärung des gegenüber dem Futter erhöhten EAA-Index in den Dickdarmabschnitten des Pferdes kann in einer Aufwertung des geringerwertigen Proteins des Ileuminhaltes durch Synthese von Bakterien- und Infusorienprotein gefunden werden.

Der "chemical score" gibt nun die Möglichkeit, die am weitesten im Minimum vorhandene essentielle Aminosäure zu bezeichnen. Diese sogenannte limitierende Aminosäure ist nach MITCHELL und BLOCK (1946) ein Ausdruck der Wertigkeit des untersuchten Proteins im Vergleich zu einem Standard. Bei nahezu allen Pferden ist ab Ileum Arginin die limitierende der untersuchten Aminosäuren. Da Arginin wohl für das Wachstum essentiell ist, aber zum Teil im Intermediärstoffwechsel synthetisiert werden kann, erscheint es gerechtfertigt, diese nicht in die Bestimmung des "chemical score" hineinzunehmen. Weiterhin zeigen sich in nahezu allen Darmabschnitten die S-haltigen Aminosäuren (Methionin + Cystin) am weitesten im Minimum. Nur bei Pferd Nr. 3, 4 und 7 ist in dem vorderen Verdauungstrakt Lysin die limitierende Aminosäure.

Die nach KWOLEK und VAN ETTEN (1968) durchgeführte Berechnung der Proteinwertigkeit zeigt in ihren Ergebnissen eine recht gute Übereinstimmung mit den nach OSER erhaltenen. Die Formel nach KWOLEK und VAN ETTEN gibt eine bessere Vergleichsmöglichkeit dem Standard gegenüber, obwohl die im Minimum oder Maximum vorhandene Aminosäure nicht gekennzeichnet ist. V_r ist im Caecum bei allen Pferden, außer Nr. 1, sehr niedrig, somit stimmt das Verhältnis der essentiellen Aminosäuren untereinander näherungsweise gut mit dem Standard überein. Die Werte für V_r werden dem Rektum zu bei den Pferden Nr. 2 bis 6 größer.

Der Vergleich der Aminosäuregehalte im Futter mit demjenigen im "wahren Protein" der Darmabschnittsinhalte läßt besondere Unterschiede beim Lysin und den S-haltigen Aminosäuren erkennen (vgl. chemical score, S. 18). Die in Tabelle 6 und 7 (S. 21 und S. 22) dargestellten Konzentrationen zeigen, daß im Dünndarmbereich die Werte allgemein unter denjenigen des Futters liegen, im Dickdarmbereich jedoch prozentual höher am "wahren Protein" beteiligt sind als beim Futter. Die Parallelität zu den Wertigkeitsberechnun-

gen läßt den besonderen Einfluß dieser Aminosäuren auf die ermittelte Proteinwertigkeit klar zu Tage treten.

Der Versuch zur Ermittlung der Resorptionsquote von Lysin und den S-haltigen Aminosäuren in den einzelnen Darmabschnitten trifft auf die gleichen Schwierigkeiten wie beim Rohprotein. Auch hier muß auf Grund des ungleichen Transports des Indikators (Hostalen) gegenüber dem Futterbrei, insbesondere in den vorderen Darmabschnitten, mit großen Unsicherheiten gerechnet werden.

Aus Abbildung 4 (S. 23) wird bei einigen Pferden zwischen Ileum und Caecum oder einem der folgenden Darmabschnitte bei den S-haltigen Aminosäuren eine prozentuale Abnahme der "Resorption" bezogen auf das Futter deutlich. Entsprechend den Konzentrationsangaben im "wahren Protein" (Tabelle 6 und 7, S. 21 und 22) kann hier eine starke bakterielle Synthese der S-haltigen Aminosäuren angenommen werden.

Der Aufbau von S-haltigen Aminosäuren aus anorganischem Schwefel durch Sulfat reduzierende Bakterien ist von LEWIS (1954) nachgewiesen worden. Nach KAUFMANN (1960) ist der Methioninanteil im Pansen um 60 bis 150 % gegenüber dem Futter erhöht. Die im Pansen entstehenden Aminosäuren können nach MCDONALD (1962) im Pansen selbst nicht resorbiert werden, wenn ihre Konzentration höher als im Blut ist. Somit kann die von KAUFMANN bestimmte Methioninsynthese im Pansen zahlenmäßig erfaßt werden. Im Caecum und den folgenden Darmabschnitten beim Pferd liegen jedoch andere Verhältnisse vor, da dort neben Synthese und einer Sekretion von Verdauungssäften auch eine Resorption von gelösten Substanzen stattfindet. Somit läßt sich bisher keine genaue Aussage über die Syntheseleistung der Mikroorganismen in diesen Abschnitten machen.

Als "Resorption" wird hier eine Abnahme der S-haltigen Aminosäuren bzw. des Lysins verstanden, bezogen auf den Gehalt

im Futter. Dabei ist es jedoch nicht klar, ob es sich um Desaminierungsvorgänge oder um eine wirkliche Resorption aus dem Darmlumen heraus handelt. Da beim Pferd proteolytische Bakterien in reichlicher Menge erst im Dickdarm zu finden sind, erscheint es gerechtfertigt, die Mengenabnahme wenigstens bis zum Ileum als Resorption zu bezeichnen. Zwischen den folgenden Darmabschnitten können Mengenabnahmen auch durch bakteriell bedingte Desaminierungen hervorgerufen werden, so daß hier nur von einer "wahrscheinlichen Resorption" gesprochen werden darf.

Abbildung 5 (S. 23) zeigt für Lysin eine noch deutlichere prozentuale Abnahme zwischen Ileum und Caecum, die bis zu 15 % der Lysinmenge im Futter beträgt. Nach dem Obengesagten kann es sich hier um eine Synthese von Lysin handeln. KAUFMANN (1960) konnte zeigen, daß der Lysingehalt im Pansen um mindestens 20 % höher als im Futter lag. WELLER et al. (1958) wiesen nach, daß im Pansen zwei Drittel des Mikrobenstickstoffs auf Bakterien und ein Drittel auf Infusorienprotein entfallen. Nach Untersuchungen von SCHWARZ (1926) sind die Verhältnisse im Blinddarm des Pferdes umgekehrt. WELLER (1957), PERSER (1966) und PETRY (1967) bestimmten das Aminosäurenmuster der Pansenbakterien und Infusorien bei unterschiedlicher Fütterung, dabei zeigte sich, daß das Aminosäurenmuster sich nicht änderte.

Bei einem Vergleich des Aminosäurenmusters der Bakterien und Infusorien mit dem des in diesem Versuch verfütterten Futters zeigt sich, daß die Infusorien einen um das Dreifache höheren Lysingehalt als das Futter haben, die Bakterien enthalten etwa doppelt soviel wie das Futter. Unter der Annahme, daß die Bakterien und Infusorien im Dickdarm des Pferdes denen im Pansen der Wiederkäuer ähneln, was ADAM (1951) für einige Arten nachweisen konnte, erscheint der Vergleich gerechtfertigt.

Wie für die S-haltigen Aminosäuren kann auch für das Lysin

eine Syntheseleistung im Dickdarm des Pferdes nicht exakt angegeben werden. In der graphischen Darstellung läßt sich im Caecum gegenüber dem Ileum eine Synthese feststellen, die für die folgenden Darmabschnitte nicht mehr sichtbar wird, da hier wahrscheinlich die Resorption überwiegt. Nach den Untersuchungen von ADAM (1951) nimmt die Infusorienmenge vom Caecum bis zum dorsalen Colon ständig zu, was die Vermutung in Bezug auf eine stärkere Synthese von Lysin erhärtet.

Unter der Voraussetzung, daß die einmal resorbierten Mengen an S-haltigen Aminosäuren und Lysin nicht wieder in das Darmlumen sezerniert werden, muß bei der graphischen Darstellung (Abb. 4 und 5, S. 23) der in einem Darmabschnitt synthetisierte Anteil der Aminosäuren (= scheinbare Abnahme der Resorption) zu den ermittelten Resorptionswerten der nachfolgenden Darmabschnitte addiert werden. Die aus der analytisch ermittelten Resorption (nicht schraffierter Teil der Säulen) und der Synthese berechnete Resorption (schraffierter Teil der Säulen) ergibt die Gesamtresorption, die entsprechend höher als bei einer einfachen Futterkotbilanz liegt. So läßt sich nachweisen, daß bis zu 90 % der verfütterten Menge an S-haltigen Aminosäuren und bis zu 95 % des verfütterten Lysins resorbiert sind; nach einer Futterkotbilanz wären es nur 80 %.

HERTEL (1969) bestimmte das verfügbare Lysin im verabfolgten Futter und bei Pferd Nr. 7 im Caecum- und Rektuminhalt. Mit der Methode nach CARPENTER (1960) wurde eine Verfügbarkeit von 50 % des mit der Aminosäurenanalytik bestimmten Gesamtlysins für das Futter ermittelt. Im Caecum lag der Quotient bei 48 %, im Rektum bei 52 %.

Bei der Berechnung der Resorption des im Futter verfügbaren Lysins mit Hilfe des Indikators zeigt sich, daß bis zum Rektum davon knapp 60 % resorbiert worden sind. Das entspräche bei einer Verfügbarkeit von 50 % des Gesamtlysins

im Futter einer Verwertung von 30 % vom Gesamtlysin (Futterkotbilanz).

Für das gleiche Pferd ließ sich demgegenüber bei Zugrundelegung der Bestimmungen in den einzelnen Darmabschnitten eine Resorptionshöhe von 80 % für das Gesamtlysin bestimmen. Daher sind wenigstens 63 % vom resorbierten Lysin durch die Mikroorganismen verfügbar gemacht oder synthetisiert worden.

E. SCHLUSSBETRACHTUNG

Die vorliegenden Ergebnisse zeigen, daß der Dickdarm des Pferdes in ähnlicher Weise wie der Wiederkäuerpansen Ort der Aufwertung des Futterproteins ist. Jedoch lassen sich wegen der gleichzeitig stattfindenden Synthese und Resorption mit der durchgeführten Untersuchung keine Aussagen über die quantitative Aufwertung machen. Beim Lysin erscheint der Beweis der Aufwertung durch die Bestimmung der Verfügbarkeit als erbracht.

Die Resorption von Rohprotein in den einzelnen Darmabschnitten setzt sich aus dem des Futters (exogen) und aus den in das Darmlumen hinein sezernierten Stickstoffsubstanzen der Verdauungssekrete (endogen) zusammen. Es müßte ein Maß gefunden werden, diese endogene Menge zu bestimmen. So untersuchte HORSZCZARUK (1969) an im Bereich des Duodenums fistulierten Schweinen den Anteil des endogenen Stickstoffs über 24 Stunden bei Verfütterung einer eiweißreichen, eiweißarmen und eiweißfreien Diät. Der Autor fand, daß das Futterrohprotein im Nahrungsbrei um 18 - 38 % zugenommen hatte, am stärksten bei der eiweißreichen Diät. Die gleichen Ergebnisse hatte SINIESZCZOKOW (1965) erhalten. Untersuchungen von NASSET (1964) an Hunden und Ratten ließen darauf schließen, daß die Menge des endogenen Stickstoffs im Inhalt des ersten Teils des Dünndarms 6 bis 10mal höher sei als die Menge des exogenen.

Beim Pferd als reinem Pflanzenfresser werden diese Mengenverhältnisse sicher nicht erreicht, obwohl je nach Art der Fütterung täglich ca. 20 l Speichel, Magensaft, ca. 7 l Pankreassekret mit hochwertigen Enzymproteinen, ca. 5 bis 6 kg Galle und unbekannte Mengen an Flüssigkeit aus den Darmeigendrüssen sezerniert werden, die alle in unterschiedlichen Mengen Stickstoff enthalten und so die mit Hilfe des Indikators erhaltenen Resorptionswerte verfälschen.

Um eine Aussage über die Aminosäuresynthese der Mikroorganismen im Dickdarm und die Ausnutzung im Intermediärstoffwechsel des Pferdes machen zu können, müßten weitergehende Untersuchungen durchgeführt werden. Unter der Annahme, daß die Konzentration der freien Aminosäuren im Blut konstant ist, und die Leber als Umschlagplatz und Speicher für die aus dem Darmlumen resorbierten Aminosäuren dient, kann aus einer Differenzbestimmung der verschiedenen Konzentrationen zwischen Pfortader und hinterer Hohlvene das Maß der resorbierten Aminosäuren berechnet werden. Im Vergleich zu den Aminosäuren im Futter und im Kot könnte so eine quantitative Aufwertung und Ausnutzung nachgewiesen werden.

Durch Verfütterung von markierten Substanzen, z.B. mit dem stabilen Isotop ^{15}N , könnte die Proteinsynthese der Mikroben im Pferdedickdarm verfolgt werden. Für das Rind liegen hierüber sehr umfangreiche Untersuchungen vor, z.B. von der Deutschen Akademie der Wissenschaften (1963, 1966). In diesen Arbeiten wurde das stabile Isotop ^{15}N als Ammoniumbicarbonat und Harnstoff verfüttert. Es konnte so der Einbau von ^{15}N in die Körpersubstanz gezeigt werden und auch die Anreicherung in bestimmten Aminosäuren, so auch im Lysin. Da Lysin und Threonin nicht im Körper gebildet werden und bei den höheren Tieren im Stoffwechsel nicht an Transaminierungsvorgängen teilnehmen, kann beim Gehalt von ^{15}N auf eine Synthese dieser beiden Aminosäuren durch die Mikroben geschlossen werden (HENNING et al., 1963). Bisher ist jedoch noch nicht bekannt, in welchem Maß das Pferd in der Lage ist, Harnstoff über die Darmbakterien zu verwerten. Untersuchungen von RATLIFF (1963) und RUSOFF (1965) zeigten lediglich, daß Pferde über lange Zeit eine Zufütterung bis zu 250 g Harnstoff täglich aufnehmen können, ohne daß sich Schäden zeigen. Der Reststickstoff des Blutes stieg von 10 bis 20 mg % auf 90 mg % an; aber auch beim Rind steigt der Reststickstoff im Blut bei Harnstoffzufütterung an.

F. ZUSAMMENFASSUNG

In verschiedenen Darmabschnitten von sieben Schlachtpferden wird das Aminosäurenmuster des Darminhalts bestimmt und die Nettoresorption der stickstoffhaltigen Substanzen mit Hilfe von Hostalen als Indikator berechnet. Etwa 70 % des Futterrohproteins werden resorbiert, der größte Teil bis zum Caecum.

Die Berechnung der Proteinwertigkeit nach OSER (1951) ergibt für alle Pferde übereinstimmend im Ileuminhalt die geringste Wertigkeit, die des Caecuminhalts und der folgenden Darmabschnitte liegt meist über der des Futterproteins. Der "chemical score" zeigt, daß die S-haltigen Aminosäuren (Methionin + Cystin) limitierend sind. Die Proteinwertigkeitsberechnung nach KWOLEK und VAN ETTEN (1968) läßt erkennen, daß das Verhältnis der essentiellen Aminosäuren untereinander im Caecuminhalt von dem des Volleis als Vergleich wenig abweicht. Die nachfolgenden Darmabschnitte weisen größere Abweichungen auf.

Bei der Berechnung der Nettoresorption der S-haltigen Aminosäuren und des Lysins läßt sich eine vermutete Synthese dieser Aminosäuren qualitativ nachweisen. Die Bestimmung des verfügbaren Lysins in den verschiedenen Darmabschnitten bringt den Beweis einer Synthese von Lysin. Quantitative Aussagen können mit der durchgeführten Untersuchung nicht gegeben werden, da neben Sekretion und Synthese auch Resorption in den hinteren Darmabschnitten zu finden ist.

Zur Klärung der quantitativen Aufwertung wird auf die Möglichkeit der Verwendung von markierten stickstoffhaltigen Substanzen hingewiesen.

G. LITERATURVERZEICHNIS

- Adam, K.M.G. 1951, Parasitology, 41, 301
- Alexander, F. 1963, in: "Progress in nutrition and allied sciences" Oliver & Boyd, Edinburgh und London, S. 259
- Alexander, F., M.E. Davies 1963, J.Comp.Path. 73, 1
- Alexander, F., J.J.D. Macpherson, A.E. Oxford 1952, J.Comp.Path. 62, 252
- Beckman Instruments Handbuch zum Aminosäurenanalysator Modell 120 B
Beckman Instruments, Spinco Abt.
- Bonazzi, A. 1951, Acta cient.venezolana, 2, 199
- Carpenter, K.J., G.M. Ellinger 1960, Biochem.J. 77, 604
- Chandler, P.F., E.M. Kesler, R.D. McCarthy 1964, J.Dairy Sci. 47, 1426
- Colin, G. 1871, in: "Traité de Physiologie Comparée", 2. Ausgabe, Paris, Bailliere; zit. n. Alexander (1963)
- Cunha, T.J. 1966, Feedstuffs, 20, 62
- Deutsche Akademie der Wissenschaften 1963, Arch.Tierern. 13, Heft 5/6
1966, Arch.Tierern. 16, Heft 4/5
- Ehrenberg, P. 1954, in: "Die Fütterung des Pferdes", 48, Neumann Verlag, Radebeul und Berlin
- Erdmann, K. 1966, in: "Vergleichende Ernährungslehre des Menschen und seiner Haustiere", 161, Fischer, Stuttgart
- Ellenberger, W. 1890, in: "Handbuch der Physiologie", Bd. 1, Berlin
- Engelbart, W. 1968, persönliche Mitteilungen

- Geyer, H. 1968, persönliche Mitteilungen
- Geyer, H., K. Drepper 1969, noch unveröffentlicht
- Hanson, H., R. Kleine 1966, in: "Vergleichende Ernährungslehre des Menschen und seiner Haustiere", 207, Fischer, Stuttgart
- Henning, A., K. Grahn, H. Faust 1963, Arch.Tierern. 13
- Hertel, J. 1969, med. vet. Diss., Berlin
- Hill, H. 1969, in: "Handbuch der Tierernährung", Bd. 1, 172, Paul Parey, Hamburg und Berlin
- Hintz, W.F., R.G. Loy 1966, J.Anim.Sci., 25, 1059
- Hock, A. 1966, "Vergleichende Ernährungslehre des Menschen und seiner Haustiere", Fischer, Stuttgart
- Hofmeister, V. 1888, Arch.wiss.prakt.Tierheilkde. 39, 22
- Horszczaruk, F. 1969, Vortrag in Rostock Internationales Aminosäuren-Symposium 11.2. - 14.2.1969
- Kaufmann, W. 1960, Kieler Milchwirtsch. Forsch.-Ber. 12, 419
- Kolb, E. 1958, Berl.Münc.h.tierärztl. Wschr. 71, 308
- Kwolek, W.F., C.H. van Etten 1968, Agricult. Food Chem. 16, 496
- Lenkeit, W., K. Breirem, E. Crasemann 1969, Handbuch der Tierernährung Bd. 1, Paul Parey, Hamburg und Berlin
- Lewis, D. 1955, Brit.J.Nutr. 9, 215
- Mangold, E. 1929, Handbuch der Ernährung und des Stoffwechsels der landwirtschaftlichen Nutztiere, Bd. 2, Verlag J. Springer, Berlin
- Mangold, E. 1950, "Die Verdauung bei den Nutztieren", Akademie Verlag, Berlin

- McDonald, J.W. 1962, Proc. New Zealand Soc. Animal Product. 22, 79; zit. n. Hock (1966)
- McNaught, M.L., E.C. Owen, K.M. Henry, S.K. Kon 1954, Biochem.J. 56, 151
- Mitchell, H.H., R.J. Block 1946, J.Biol.Chem. 163, 509; zit. n. K. Drepper (1956), med.vet. Habil., München
- Morris, P.G.D. 1954, J.comp.Path. 64, 97; zit. n. F. Alexander (1963)
- Nasset, E.S. 1964, in: "The role of the gastrointestinal tract in protein metabolism", 83, Blackwell Scientific, Publ. Oxford
- N.R.C. 1963, Publication 1100, 14, Washington, D.C.
- Orth, A., W. Kaufmann 1961, Vortrag VIII. Internationaler Tierzuchtkongreß, Hamburg; zit. n. Hock (1966)
- Oser, B.L. 1959, in: "Protein and Amino Acid Nutrition", 2. Ausgabe, 281, Academic Press, New York
- Petry, H. 1967, med. vet. Diss., München
- Purser, D.B., S.M. Buechler 1966, J.Dairy.Sci. 49, 81
- Ratliff, F.D., R.K. King, J.B. Reynolds 1963, Vet.med. 58, 945
- Rusoff, L.L., R.B. Lank, B.S. Spillmann, H.B. Elliot 1965, Vet.med. 60, 1123
- Scheunert, A., F.W. Krzywanek 1929, in: E. Mangold (1929): Handbuch der Ernährung und des Stoffwechsels der landwirtschaftlichen Nutztiere, Bd. 2, 237, Springer, Berlin
- Scheunert, A., A. Schattke 1913, "Der Ablauf der Magenverdauung des normal gefütterten und getränkten Pferdes", Fischer, Jena
- Schwarz, C. 1926, Pflügers Arch.ges.Physiol. 213, 556

- Sinieszczokow, A.N. 1965, zit. n. Horszczaruk (1969)
- Spackman, D.H., W.H. Stein, 1958, Fed.Proc. 17, 1107;
S. Moore zit. n. Beckman
- Weller, R.A. 1957, Austral.J.Biol.Sci. 10,
384; zit. n. Hock (1966)
- Weller, R.A., F.V. Gray, A.F. 1958, Brit.J.Nutr. 12, 421
Pilgrim

Es ist mir eine angenehme Pflicht, Herrn Prof. Dr. Dr. Kraft Drepper, Direktor des Instituts für Veterinär-Biochemie der Tierärztlichen Fakultät der Freien Universität Berlin, für die Überlassung des Themas, der benötigten Einrichtungen und Materialien sowie für seine tatkräftige Unterstützung der Arbeit meinen herzlichen Dank auszusprechen.

L e b e n s l a u f

Am 18. Januar 1944 wurde ich als Sohn des kaufmännischen Angestellten Kurt Altmann und seiner Ehefrau Ella, geb. Lindner, in Berlin-Mitte geboren.

Ab Herbst 1950 besuchte ich die Volksschule in Berlin-Mariendorf. Im Frühjahr 1956 besuchte ich das Askanische Gymnasium Berlin-Tempelhof, wo ich im März 1963 meine Reifeprüfung ablegte.

Im Herbst des gleichen Jahres wurde ich an der Veterinärmedizinischen Fakultät der Freien Universität Berlin immatrikuliert. Nach neunsemestrigem Studium in Berlin absolvierte ich meine dreimonatige Praktikantenzeit bei Herrn Dr. H. Isensee in Bad Harzburg. Im Sommer 1968 legte ich das tierärztliche Staatsexamen ab.

Zur Anfertigung meiner Dissertation arbeite ich seither im Institut für Veterinär-Biochemie der Freien Universität Berlin.

